

### Список литературы

1. Monflier E., Tilloy S., Blouet E. et al. // J. Mol. Catal. A. Chem. 1996. Vol. 109. P. 27–35.
2. Yee K.-K., Wong Y.-L., Zha M. et al. // Chem. Commun. 2015. Vol. 51. P. 10941–10944.
3. Church J. M., Joshi H. K. // Ind. Eng. Chem. 1951. Vol. 43. P. 1804–1811.
4. Kresge A. J., Chiang Y. // J. Chem. Soc. B. 1967. Vol. 53–7.
5. Parshina L. N., Oparina L. A., Gusarova N. K. et al. // J. Chem. Technol. Biotechnol. 2019. Vol. 94. P. 1945–1950.
6. Rodygin K. S., Vikenteva Y. A., Ananikov V. P. // ChemSusChem. 2019. Vol. 12. P. 1483–1516.
7. Werner G., Rodygin K. S., Kostin A. A. et al. // Green Chem. 2017. Vol. 19. P. 3032–3041.

*\* Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ 50765946.*

УДК 547.79

**Д. Е. Самойленко<sup>1</sup>, К. С. Родыгин<sup>1</sup>, В. П. Анаников<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
198504, Россия, г. Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., 26,  
d.samoylenko@spbu.ru,

<sup>2</sup>Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН,  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр., 47

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ПРОМОТИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ ТРИАЗОЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ\***

**Ключевые слова:** триазолы, ионная жидкость, клик-химия, циклопри-  
соединение.

Взаимодействие терминальных алкинов с органическими азидами в определенных условиях приводят к образованию 1,2,3-триазолов, которые находят применение в медицине [1, 2], биологии [3], материаловедении [4], процессах конверсии биомассы [5] и многих других областях.

Актуальной задачей является поиск экологичных методов синтеза триазолов. Это связано с тем, что их синтез довольно часто связан с использованием токсичных реагентов, в частности, различных органических азидов и растворителей [6, 7]. В связи с этим в настоящее время существует потребность в поиске более экологичного способа получения данного класса соединений. Одним из направлений решения этой проблемы является замена органического азиды на более стабильный и менее летучий азид натрия [6], помимо этого в качестве растворителя перспективно использование широко

известных ионных жидкостей (ИЖ), которые могут выступать в роли стабилизаторов каталитически активных частиц, тем самым ускоряя реакцию и облегчая ее протекание. Электрохимический синтез в среде ионных жидкостей позволяет получать вещества с высокой степенью упорядоченности [8], помимо этого, изменяя условия реакции, можно регулировать количество, морфологию [9], состав [10] и размеры получаемого вещества [11]. Все эти факторы в значительной мере влияют на каталитические свойства материала. ИЖ обладают рядом преимуществ по отношению к электрохимическим процессам, таким как хорошая электропроводность и широкое электрохимическое окно [12]. В настоящей работе предлагается электрохимический синтез триазолов в среде ионных жидкостей.

Известно, что соединения меди и её наночастицы эффективно катализируют циклоприсоединение алкинов к органическим азидам [13]. В работе был электрохимически синтезирован медный катализатор в среде 1-этил-3-метилимидазолий этилсульфата ([Emim][EtSO<sub>4</sub>]), который успешно использовался в реакции между азидом натрия, 4-нитробензил бромидом и фенилацетиленом при комнатной температуре (рисунок).

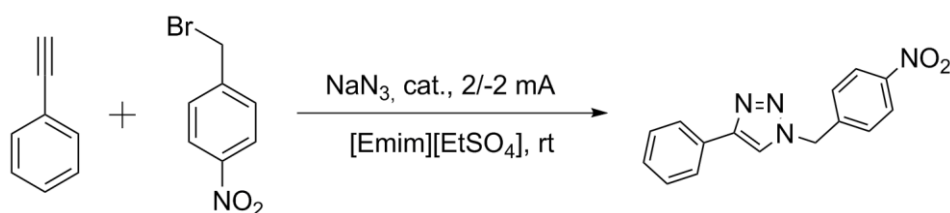


Рисунок. Синтез 1-(4-нитробензил)-4-фенил-1H-1,2,3-триазола в [Emim][EtSO<sub>4</sub>]

Исследуя влияние электрического тока на протекание синтеза, мы выяснили, что в отсутствие электрического тока реакции не происходит. Использование солей меди в качестве катализатора способствует конверсии исходных реагентов в 12.2 %, а с помощью электрохимически синтезированного катализатора нам удалось достичь конверсии в 51 % за то же время. Оптимизируя условия, мы достигли выхода продукта в 96 %.

Таким образом, нам удалось разработать методику более экологичного, электрохимически промотируемого синтеза 1-(4-нитробензил)-4-фенил-1H-1,2,3-триазола в среде [Emim][EtSO<sub>4</sub>] и при комнатной температуре. Целевой продукт получен с выходом 96 %, а также выделен в чистом виде и охарактеризован с помощью физико-химических методов анализа.

#### Список литературы

1. Alvarez R., Velázquez S., San-Félix A. et al. // J. Med. Chem. 1994. Vol. 37. P. 4185–4194.
2. Moses J. E., Moorhouse A. D. // Chem. Soc. Rev. 2007. Vol. 36. P. 1249–1262.

3. *Speers A. E., Cravatt B. F. // Chem. Biol. 2004. Vol. 11. P. 535–546.*
4. *Lutz J.-F. // Angev. Chem. Int. Ed. 2007. Vol. 46. P. 1018–1025.*
5. *Karlinskii B. Ya., Romashov L. V., Galkin K. I. et al. // Synthesis. 2019. Vol. 51. P. A–H.*
6. *Huang L., Liu W., Wu J. et al. // Tetrahedron Lett. 2014. Vol. 55. P. 2312–2316.*
7. *Raut D., Wankhede K., Vaidya V. et al. // Catal. Commun. 2009. Vol. 10. P. 1240–1243.*
8. *Chen M., Goodman D. W. // Acc. Chem. Res. 2006. Vol. 39. P. 739–746.*
9. *Abedin S. Z. E., Saad A. Y., Farag H. K. et al. // Electrochim. Acta. 2006. Vol. 52. P. 2746–2754.*
10. *Kim D., Resaco J., Yu Y. et al. // Nat. Commun. 2014. Vol. 5. P. 1–8.*
11. *Yu L., Sun H., He J. et al. // Electrochem. commun. 2007. Vol. 9. P. 1374–1381.*
12. *Chiappi C., Malvaldi M. // Phys. Chem. Chem. Phys. 2010. P. 11191–11196.*
13. *Ojha N. K., Zyryanov G. V., Majee A. et al. // Coord. Chem. Rev. 2017. Vol. 353. P. 1–57.*

*\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-08020.*

УДК 547.743.1

**А. В. Смолобочкин, А. С. Газизов, Т. С. Ризбаева,  
М. А. Пудовик, А. Р. Бурилов**

*Институт органической и физической химии  
им. А. Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН,  
420088, Россия, г. Казань, ул. Ак. Арбузова, 8,  
Smolobochkin@iopc.ru*

## **НОВЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ 1,2-ДИЗАМЕЩЁННЫХ ПИРРОЛИДИНОВ НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ ПРОИЗВОДНЫХ 4,4-ДИЭТОКСИБУТАН-1-АМИНА С (ГЕТЕРО)АРОМАТИЧЕСКИМИ НУКЛЕОФИЛАМИ\***

**Ключевые слова:** пирролидины, ацетали, С-нуклеофилы, 4,4-диэтоксипутан-1-амин.

Пирролидиновый цикл входит в состав многих природных алкалоидов и фармацевтических препаратов. Большинство подходов к синтезу подобных соединений основывается на реакциях внутримолекулярной циклизации с образованием пирролидинового ядра. Однако немногие из них позволяют одновременно с образованием связи С-N формировать связь углерод-углерод во втором положении гетероциклического кольца.

Нами разработан оригинальный подход к синтезу 1,2-дизамещённых пирролидинов **3** на основе кислотно-катализируемой реакции производных